

Особенности интеграции ресурсов исследовательского пространства

С.А. Жукова, Д.Е. Германюк

Аннотация. Рассматривается применение объектно-ориентированного моделирования распределенной информационной системы интеграции ресурсов в сфере науки и образования. Обозначены основные требования к системе и этапы моделирования структуры: модели, их назначение, анализ и результаты. Приведен пример ряда моделей в нотации UML 2.0, построенных с использованием CASE-средства Rational Software Architect 8.0.

Ключевые слова: распределенные системы, интеграция, виртуальные лаборатории, технология открытых систем, объектно-ориентированное моделирование, архитектура информационных систем, модель.

Введение

В настоящее время в России активно ведутся работы по созданию и развитию научно-образовательной среды с использованием Интернет – технологий для поддержки процессов проведения научных исследований и образования [1,2]. Формирование научно-образовательной среды предполагает разработку и внедрение информационных систем, обеспечивающих тесное взаимодействие научных и образовательных ресурсов посредством глобальных вычислительных сетей, и использует методы и технологии построения распределенных открытых систем [2]. Для данных систем характерны следующие особенности:

- территориальная удаленность пользователей;
- использование неоднородного программного и аппаратного обеспечения;
- динамическое наращивание функциональных сервисов приложений;
- возрастание информационных ресурсов и пользователей;
- интеграция неоднородных информационных ресурсов, характеризует их как сложные информационные системы. В этом случае возрастает роль моделирования и исследования структуры системы.

Рассмотрим моделирование распределенной открытой системы на примере автоматизированной системы интеграции открытых виртуальных лабораторных комплексов (АС ОВЛК). Работа ведется Ижевским государственным техническим университетом в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы по теме «Разработка модели автоматизированной системы интеграции открытых виртуальных лабораторных комплексов (АС ОВЛК)».

Определим виртуальный лабораторный комплекс как систему информационных, организационных и вычислительных ресурсов, решающую задачи предметной области ресурсами образовательных, научно-производственных и других организаций. Если такая система построена в соответствии с принципами технологии открытых систем, то можно говорить о создании открытого виртуального лабораторного комплекса (ОВЛК). Для разработки модели интеграции ОВЛК в информационное пространство определена структура и выявлен компонентный состав комплекса:

- информационный ресурс - совокупность форм документов, классификаторов, нормативной базы, алгоритмов, математических методов и реализованных решений по объемам, размеще-

нию и формам существования информации; в составе информационного ресурса ОВЛК выделим ресурсы, поддерживающие процессы интеллектуальной деятельности исследователя – программные комплексы проведения экспериментов;

- организационные ресурсы – совокупность правил и методов доступа к информационным и вычислительным ресурсам для конкретного предприятия, организации, учреждения;

- вычислительные лабораторные ресурсы или ресурсы обработки данных объединяют в себе программно-аппаратные ресурсы: установки, файловая система, средства коммуникаций, программное обеспечение, хранилище данных, а также сведения о них.

Интеграция виртуальных лабораторных комплексов для проведения дистанционных экспериментов с компьютерными моделями и управление ими осуществляется с помощью автоматизированной системы. АС ОВЛК имеет архитектуру распределенных объектов и предназначена для настройки виртуальных лабораторных комплексов с целью их включения в информационное пространство.

1. Система интеграции ресурсов. Требования и тактики их достижения

Основные задачи АС ОВЛК - это накопление, хранение, обработка и защита сведений об экспериментах и ВЛК, тестирование ВЛК на соответствие техническим требованиям, настройка интерфейса взаимодействия ВЛК с пользователем, обеспечение удаленного доступа пользователям к сервисам ВЛК, распределение вычислительной нагрузки между ВЛК.

Приведенные в работе [3] концептуальные особенности формирования ВЛК для исследовательских задач позволили сформулировать основные требования АС ОВЛК и тактики их достижения (Табл. 1). Тактика - это проектное решение, которое влияет на достижение определенного или нескольких показателей требования. Совокупность принятых тактик позволяет сформировать архитектуру системы, которая описывается рядом структур.

Применение типовых проектных решений – тактик - возможно в ходе моделирования вари-

Табл. 1. Основные требования АС ОВЛК и тактики их достижения

Наименование требования	Реализация	Тактика
Мобильность, т.е. система должна обеспечивать возможность взаимодействия серверных компонентов, независимо от программно-аппаратной платформы.	Создание механизмов для возможности использования ВЛК разными категориями пользователей на базе различной аппаратуры.	Создание компонентной архитектуры системы в соответствии со спецификацией J2EE; построение на основе открытых стандартов (J2EE, XML и т.д.), с возможностью работы с различными Web-серверами использование; кроссплатформенных языков программирования.
Масштабируемость, т.е. возможность добавления новых компонентов по мере их разработки минимальными усилиями.	Использование готовых шаблонов, создание библиотеки шаблонов для исследовательских задач.	Уменьшение связности программных компонентов; увеличение сцепления программного компонента; повторность использования программного компонента; сокращение числа программных компонентов за счет их обобщения; разработка интерфейсов для подключения новых компонентов.
Интероперабельность, обеспечение информационной и программной совместимости с внешними системами; возможность подключения виртуальных лабораторий от разных производителей.	Разработка механизмов обмена научной и образовательной информацией: способов и методов обмена. Разработка механизмов настройки интерфейса с внешними системами.	Информационная закрытость программного компонента: разделение информации на приватную и публичную; разработка интерфейсов для подключения новых компонентов. Построение компонентов на основе открытых стандартов .
Производительность, т.е. система должна корректно обрабатывать запросы пользователей численностью до нескольких сотен без потери производительности.	Создание механизмов повышения производительности предоставляемых услуг.	Управление вычислительными ресурсами путем ввода планирования использования ресурса; увеличение ресурсов путем горизонтального масштабирования.

антов структур системы, их анализа и оценки в соответствии с принятыми критериями и выбора оптимальной структуры. Совокупность принятых методов и способов и правил их применения позволяет разработать методику моделирования АС ОВЛК.

Таким образом, проектирование АС ОВЛК как сложной информационной системы выполняется построением ряда моделей, которые описывают структуру системы с учетом различных требований и позволяют определить основные проектные решения, удовлетворяющие ключевым требованиям АС ОВЛК.

2. Математическая постановка задачи моделирования системы интеграции ресурсов

Определим задачу моделирования АС ОВЛК как задачу синтеза оптимальной структуры, максимально удовлетворяющей основным требованиям. Проблема синтеза структуры АС ОВЛК включает декомпозицию системы на подсистемы, определение состава подсистем, распределение обязанностей между программными компонентами, выбор варианта размещения подсистем на физических узлах. Таким образом, задачу синтеза структуры можно описать как поиск оптимального отображения функционала системы на элементы - программные компоненты и их размещение на распределенных вычислительных узлах.

Формально задачу синтеза структуры системы можно описать как задачу формирования графа $G(E, V)$, удовлетворяющего функции F

$$F(\alpha_i \cdot R_i) \rightarrow \max,$$

где F - интегральный показатель достижения требований R_i ,

α_i - весовой коэффициент, учитывает приоритет требования,

V - элементы структуры (программные компоненты),

E - связи между элементами структуры.

Дуги графа $G(E, V)$ отражают зависимости или отношения между программными компонентами и ориентированы в соответствии с сообщениями и информационными потоками, передаваемыми от компонента к компоненту.

Оптимальную структуру АС определим при ограничениях на ресурсы. Эти ограничения имеют вид:

$$\sum_{k=1}^m R_k \leq R,$$

где k - тип ресурса,

R_k – ресурс k -типа,

R – общий выделенный на разработку ресурс.

В качестве ресурсов используются следующие типы: время на разработку, на модификацию, на эксплуатацию. Одной из особенностей системы следует считать постоянное наращивание ресурсов и ее функциональных возможностей. Из этого следует необходимость сокращения времени на модификацию и эксплуатацию системы, т.е. введение ограничений на данный тип ресурса.

3. Моделирование структуры системы интеграции ресурсов

Основным способом моделирования системы выбран объектно-ориентированный метод (ООМ). Объектно-ориентированное моделирование и проектирование — это подход к решению задач с использованием моделей, основанных на понятиях реального мира. Фундаментальным элементом является объект, объединяющий структуру данных с поведением. В настоящее время известны множество работ, описывающих ООМ и соответствующие языки описания моделей (UML), а также примеры использования [4,5].

Для моделирования структуры введем следующие определения.

Класс анализа – описание объекта предметной области, который включает набор его свойств и методов.

Модуль – блок реализации функции системы, выполняет определенную функциональную обязанность (или группу обязанностей). В случае объектно-ориентированного моделирования в качестве модулей рассматриваются классы и их интерфейсы. Степень детализации описания модуля зависит от цели моделирования. Например, модулем может быть проектный класс, процедура, функция, программ и подсистема.

Подсистема – это совокупность модулей, объединенных в группу по некоторому признаку.

ку. В случае объектно-ориентированного проектирования в качестве подсистем рассматриваются программные компоненты со стереотипом «subsystem». Таким образом, подсистемы группируют проектные классы вместе с их интерфейсами.

Пакет – это совокупность программных компонентов системы (подсистем и модулей), объединенных в группу по некоторому признаку (обычно функциональному). Пакет - логическая структурная единица, используется для распределения обязанностей разработки системы и улучшения процесса сопровождения разработки. Пакет не является программным компонентом и не создается как физический элемент системы.

Связь между подсистемами – это зависимости, которые возникают в ходе выполнения функций модулями, логически размещенными в разных подсистемах.

Связь между модулями – это отношения между проектными классами, а также зависимости, которые возникают в ходе выполнения функции: внутри модуля обращение к модулю; выходные данные одного модуля являются входными данными другого модуля.

Результатом объектно-ориентированного моделирования является описание структур, совокупность которых определяет архитектуру системы.

3.1. Этапы моделирования

Сформулированная постановка задачи позволила определить основные этапы синтеза структуры АС ОВЛК, перечень моделей, их назначение и цели анализа в соответствии с принятым объектно-ориентированным методом (Табл. 2). В соответствии с принятым ООМ моделирования, для иллюстрации моделей используются диаграммы, отражающие наглядно компоненты и их взаимодействие. В таблице приведены диаграммы, используемые при моделировании АС ОВЛК.

Этап постановки задачи необходим для выявления проблем и уточнения задач, целей и функций, реализуемых системой. Результаты данного этапа являются исходными данными проектирования модульной структуры системы.

Проектирование модели анализа позволяет рассмотреть систему с информационной точки зрения, а именно: сфокусировать описание системы на семантике информации и осу-

Табл. 2. Основные этапы синтеза структуры АС ОВЛК

Наименование этапа	Наименование модели/ Наименование диаграммы	Цель анализа модели
Постановка задачи	Модель требований Use-case	Формирование ключевых функциональных требований АС ОВЛК; список пользователей; нефункциональные требования.
Проектирование структуры	Модель анализа Диаграмма последовательности	Анализ групп операций, повторяющихся в нескольких классах.
	Диаграмма классов	Анализ групп атрибутов, повторяющихся в нескольких классах, анализ классов, играющих одинаковую роль, оценка связности между классами на основе анализа ассоциации, анализа сообщений между классами.
	Модель проекта. Диаграмма взаимодействия; диаграмма размещения; диаграмма классов	Анализ зависимости между пакетами, анализ возможности размещения пакетов на распределенных узлах; анализ возможности планирования ресурсов.
	Диаграмма последовательности	Анализ механизмов реализации защиты, хранения в БД, механизмы взаимодействия распределенными подсистемами, возможность применения готовых паттернов для реализации механизмов.
Исследование структуры	Модель реализации диаграмма размещения	Расчет показателей структуры и их оценка на возможность достижения основных требований АС ОВЛК.

ществляемой обработке информации, т.е. дать описание аналитической модели. Аналитическая модель рассматривает систему как совокупность объектов - категорий реального мира и их взаимосвязь и поведение.

Проектирование модели проекта позволяет рассмотреть систему с вычислительной и инженерной точек зрения, которая допускает распределение путем функциональной декомпозиции системы на объекты, взаимодействующие через интерфейсы. Модель проекта рассматривает систему как совокупность объектов – проектируемых программных элементов, выполняющих строго отведенную им функцию, распределенных на разных вычислительных узлах и взаимодействующих друг с другом через четко определенные интерфейсы.

Проектирование модели реализации позволяет рассмотреть систему с инженерной и технологической точек зрения и рассматривает систему как совокупность объектов – реализованных программных элементов, выполняющих строго отведенную им функцию, распределенных на разных вычислительных узлах и взаимодействующих друг с другом через четко определенные интерфейсы.

3.2. Описание структуры системы интеграции ресурсов

В ходе выполнения этапов синтеза структуры рассмотрено несколько вариантов и получено описание архитектуры АС ОВЛК в следующих представлениях: модель декомпозиции, модель размещения.

В качестве архитектурного шаблона выбрана модель распределенного приложения Model-View-Controller. Характерной чертой таких приложений является логическое разделение приложения на две и более частей, каждая из которых может выполняться на отдельном

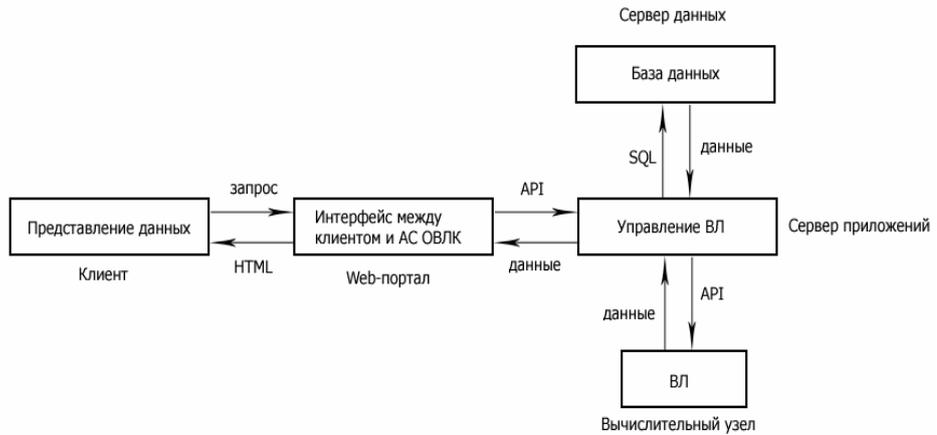


Рис. 1. Клиент-серверная архитектура АС ОВЛК

компьютере. Выделенные части приложения взаимодействуют друг с другом, обмениваясь сообщениями в заранее согласованном формате. В этом случае двузвенная архитектура клиент-сервер становится трехзвенной, а в некоторых случаях она может включать и больше звеньев, так как позволяет распределить компоненты системы между вычислительными узлами и максимально разгрузить клиента. На Рис. 1 представлена клиент-серверная архитектура системы. Она построена на основе трёхзвенной архитектуры с добавлением звена по управлению вычислительными лабораториями и звена «Вычислительный узел», обеспечивающего проведение эксперимента.

На Рис. 2 представлена модульная структура АС ОВЛК в виде модели декомпозиции, построенная на основе модели требований к системе. АС ОВЛК состоит из подсистем, логически объединенных в пакеты. Каждый пакет включает подсистемы, которые выполняют строго отведённые им роли:

- пакет управления открытыми виртуальными лабораторными комплексами предназначен для выполнения функций, связанных с управлением открытым виртуальным лабораторным комплексом: регистрация ВЛ и прочих ЛР, поиск, тестирование, подключение к ИП, предоставление доступа к ЛР пользователей;
- пакет обмена информацией предназначен для организации электронного документооборота и обмена исследовательскими данными между внешними системами;

- пакет управления экспериментами предназначен для формирования ВЛК в соответствии с целью исследования по запросу пользователя, формирования данных для экспериментов, планирования эксперимента (распределения вычислительных ресурсов между ВЛК) и его выполнения, анализа полученных результатов;

- пакет администрирования контента служит для обеспечения доступа к ресурсам ОВЛК, публикации информации о лабораторных ресурсах на сайте; включает набор функций по наполнению, обслуживанию и публикации информационного портала.

На Рис. 3 показана модель размещения, которая представляет собой распределение компонентов системы между вычислительными узлами.

Сервер приложений – ядро АС ОВЛК, программно-аппаратный комплекс, на котором размещены основные подсистемы. Сервер приложений управляет выполнением необходимых расчетов для проведения исследований, вычислительными ресурсами, а также обрабатывает заявки клиента.

Веб-портал – сервер, на котором установлено Web-приложение, обеспечивающее взаимодействие пользователя и АС ОВЛК, принимает запросы пользователя и возвращает результаты обработки запросов, на данном сервере размещена подсистема управления контентом.

Вычислительный ресурс – сервер либо рабочая станция, предназначен для выполнения расчётов, задание на проведение которых выдает сервер приложений.

Информационное хранилище – сервер, предназначенный для хранения ресурсов ОВЛК (информационных, организационных).

Клиент – компьютер пользователя, инициирующий запросы на проведение экспериментов и получения результатов эксперимента.

3.3. Оценка структуры системы интеграции ресурсов

В ходе выполнения моделирование структуры АС ОВЛК решены следующие задачи:

- определен состав подсистем и структура классов;
- описаны взаимодействия классов подсистем при реализации функций (прецедентов);

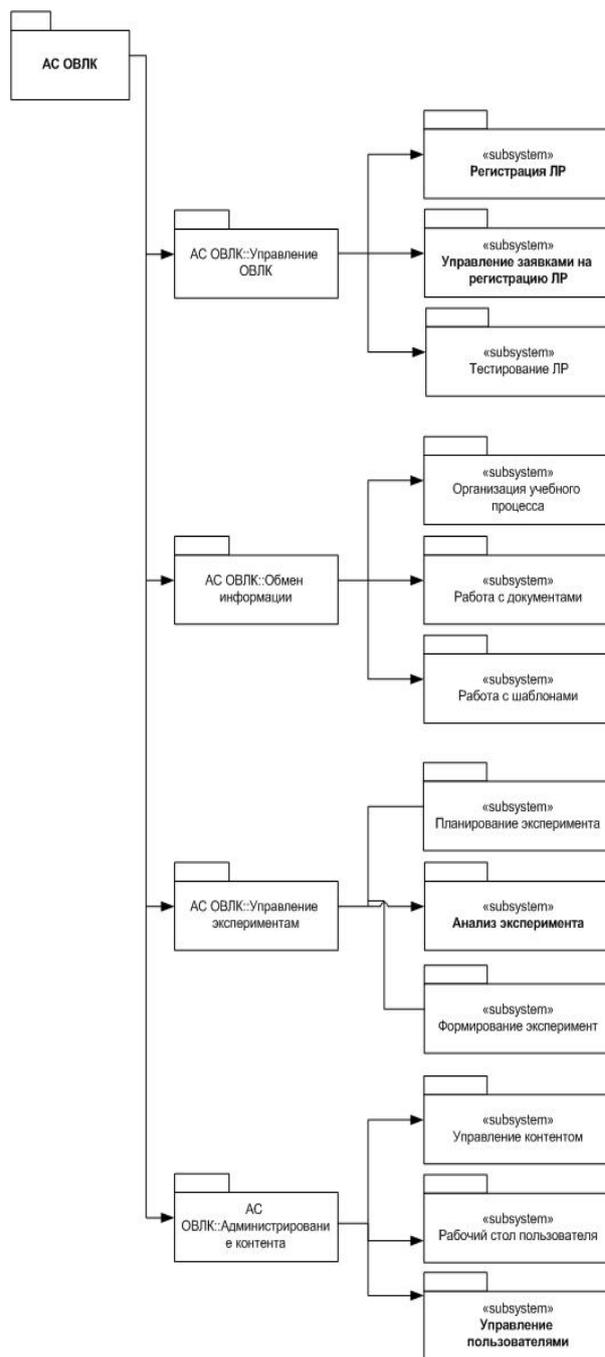


Рис. 2. Модель декомпозиции АС ОВЛК

модель включает наборы классов, реализующих поведение, определенное в прецеденте;

- описаны модели взаимодействия компонентов, размещаемых на уровнях: представления, предметном, операционном, технологическом;

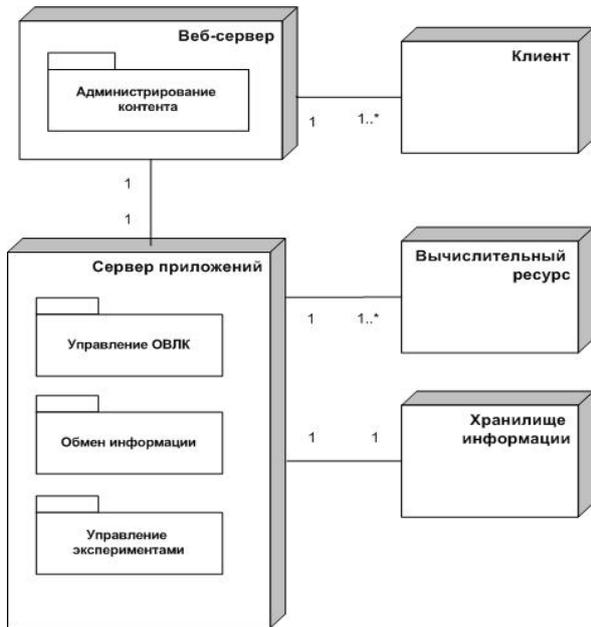


Рис.3. Модель размещения АС ОВЛК

- описаны модели взаимодействия с внешними компонентами системы. К таким компонентам относятся подключаемые виртуальные лаборатории, а также информационные порталы.

В результате моделирования получены подсистемы, взаимодействие которых осуществляется посредством интерфейсов. Таким образом, интерфейсы выступают посредниками между компонентами АС ОВЛК.

Для оценки структуры АС ОВЛК используется ряд показателей [6]. Например, для оценки модели декомпозиции в качестве базовой выбрана методика Чидамбера С. и Кемерара К. [6], в которой предложен расчет показателей для оценки модульной структуры объектно-ориентированных систем. В нашем случае рассмотрим следующие показатели: количество связей в подсистеме, кол-во связей в системе между подсистемами, коэффициент невязки. Коэффициент невязки характеризует степень отличия проектной структуры от структуры в виде дерева как структуры с минимальным количеством связей.

Для структуры с n вершинами и e ребрами невязка определяется по выражению:

$$N_{ev} = \frac{2(e - n + 1)}{(n - 1)(n + 2)}$$

В результате моделирования получена структура системы, состоящая из 45 классов

и 100 связей между ними. Классы сгруппированы по 10 подсистемам, которые взаимодействуют друг с другом посредством интерфейсов.

Определим значения невязки для структуры АС ОВЛК из 45 классов и 100 связей между ними:

$$N_{ev} = \frac{2(e - n + 1)}{(n - 1)(n + 2)} = \frac{2 \cdot (100 - 45 + 1)}{(45 - 1) \cdot (45 + 2)} = 0,01$$

Определим значения невязки для структуры из 10 подсистем и 35 связей между ними:

$$N_{ev} = \frac{2(e - n + 1)}{(n - 1)(n + 2)} = \frac{2 \cdot (35 - 10 + 1)}{(10 - 1) \cdot (10 + 2)} = 0,098$$

Значения показателей N_{ev} невысокие, что означает достаточную независимость компонентов между подсистемами. Такое проектное решение позволяет обеспечить масштабируемость и возможность динамического наращивания ресурсов.

Заключение

Интеграция разнородных ресурсов, обеспечивающих решение исследовательских задач в области науки и образования, выдвигают к информационным системам требования мобильности, интероперабельности, масштабируемости. Такие системы являются достаточно сложными, и их проектирование осуществляется путем моделирования и исследования характеристик структуры, что позволяет значительно снизить риски при создании АС и максимально удовлетворить основные требования.

Преимущество объектно-ориентированного подхода оказывается больше, чем может показаться с первого взгляда. Статические и динамические модели позволяют разработчику формировать и оценивать проектные решения по выбору структур системы на этапе предварительного проектирования. Моделирование структуры и описание в виде диаграмм позволяет варьировать состав и методы взаимодействия компонентов системы и проводить их оценку на этапе проектирования.

ООМ обладает достаточно мощным инструментом построения распределенных открытых систем и позволяет моделировать системы для исследовательских задач с учетом заявленных требований.

Литература

1. S.A. Zhukova, S.Zh. Kozlova, I.N. Efimov, E.A. Ermolaeva Technologies of development of the open systems and their application in science and education: the review of papers and development perspective (Технологии построения открытых систем в формировании научно-образовательной среды: обзор работ и перспективы развития) // 12 международная конференция Computer Science and Information Technologies (CSIT'2010) (Информатика и Информационные технологии), Уфимский государственный авиационный технический университет (УГАТУ), С. 208-212.
2. Ефимов И.Н., Жевнерчук Д.В., Козлова С.Ж., Николаев А.В., Открытые виртуальные исследовательские пространства. Технология построения.- Нижний Новгород: Издательство Нижегородского государственного университета имени Н.И.Лобачевского, 2008. – с.203
3. Ефимов И.Н., Жукова С.А., Козлова С.Ж. Автоматизированная система интеграции открытых виртуальных лабораторных комплексов // XIII Международная научно-практическая конференция «Фундаментальные и прикладные проблемы приборостроения и информатики», 04-08 октября 2010г., г. Сочи, с. 105-109
4. Арлоу, Нейштадт. UML 2 и Унифицированный процесс: практический объектно-ориентированный анализ и проектирование. - Символ-Плюс, 2-е изд. - 2007. – с. 624.
5. К. Ларман. Применение UML 2.0 и шаблонов проектирования. - Вильямс, 3-е изд. – 2007. – с.730
6. Орлов С. Технологии создания программного обеспечения. Учебное пособие. 2-е изд. -СПб.: Питер,2003.- 480с. ил.

Жукова Светлана Александровна. Начальник отдела Чайковский технологический институт (филиал) ГОУВПО ИжГТУ. Окончила Ижевский механический институт в 1993г. Кандидат технических наук. Имеет более 15 печатных работ, в том числе одну монографию. Область научных интересов: информационно-телекоммуникационные системы, системный анализ, CASE-технологии. E-mail: otdel_it@chti.ru

Германюк Денис Евгеньевич. Аспирант Чайковского технологического института (филиал) ГОУ ВПО ИжГТУ. Окончил ЧТИ (филиал) ГОУ ВПО ИжГТУ в 2010 году. Имеет 5 печатных работ. Область научных интересов: математическое моделирование, компьютерное моделирование физических процессов, системный анализ, web-технологии. E-mail: st.vergil@mail.ru